

Artículo Original

PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS VEGETALES

BIOETHANOL PRODUCTION FROM ORGANIC PLANT WASTE

Luis Alberto Llenque-Díaz*, Aníbal Quintana Díaz, Lidia Torres Lino, Rosa Segura Vega

Universidad Nacional de Trujillo, Av. Juan Pablo II s/n Urbanización San Andrés, Trujillo, Perú

*Autor para correspondencia: albertoyenque65@gmail.com

Recibido: 9 de marzo, 2020. Aceptado: 10 de mayo, 2020

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue valorar la producción de bioetanol a partir de cáscaras de *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y hojas de *Eucalyptus globulus*. Las cáscaras de mandarina, maracuyá y hojas de eucalipto, se recogieron en bolsas de polietileno, rotuladas y se trasladaron al laboratorio; en donde fueron lavadas, desinfectadas, secadas y molidas. A un kg de residuo molido se agregó 4 L de HCl 1.0M, se calentó a 100°C por 5h; luego se filtró y ajustó a pH 4.5 con NaOH 1.0M. El sistema con 2.2 L de medio de producción, 14°Brix y suplementado, se fermentó con *Saccharomyces cerevisiae* MIT-L51, 100 ml/L de hidrolizado, a temperatura ambiente (23-25°C) durante 7 días en reposo. Finalmente, se destiló a 78°C por 3h, y los rendimientos promedios fueron de 3.8 ± 0.2 % (v/v, ml de bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado) para cáscaras de mandarina, 4.2 ± 0.1 % (v/v) maracuyá y 4.7 ± 0.1 % (v/v) de hojas de eucalipto, con un grado alcohólico del 80%(volumen). El análisis de varianza de los valores promedios de los rendimientos obtenidos con nivel de confianza 95%, indica que si hay diferencia significancia ($p < 0.05$), y de acuerdo a Tukey, todos los promedios son diferentes entre sí quedando establecido que el rendimiento obtenido está en relación al tipo de residuo vegetal evaluado. Por lo tanto, los residuos vegetales evaluados pueden ser utilizados para la producción a gran escala teniendo como referencia las condiciones de ensayo.

Palabras claves: Residuos vegetales, producción, bioetanol, rendimiento

ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the production of bioethanol made of fruit peels from *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis*, and *Eucalyptus globulus* leaves. The samples were collected and tag in polyethylene bags, then in laboratory were washed, disinfected, dried and crushed. The samples were dissolved in 4 L of HCl 1.0 M adding heat at 100°C for almost 5 hours. The result was filtrated and regulated at pH 4.5 with NaOH 1.0M. This 2.2 L extract, 14° Brix was fermented with *Saccharomyces cerevisiae* MIT-L51, 100 ml/L, and hydrolyzed at room temperature (23-25°C) for seven days. Finally, it was distilled at 78°C for 3 hours, and the average were 3.8 ± 0.2 % (v/v, ml of bioethanol obtained/100 ml of distilled ferment) for *Citrus reticulata* “mandarina”, 4.2 ± 0.1 % (v/v) for “passion fruit” and 4.7 ± 0.1 % (v/v) for *Eucalyptus globulus* “eucalyptus” leaves, with an alcoholic strength of 80% (volume). The analysis of variance of the average values of the yields obtained with a 95% confidence level, indicates that there is a significant difference ($p < 0.05$). According to Tukey, all averages are different from each other. In conclusion, the performance obtained it is in relation to the type of plant residue evaluated. Therefore, the plant residues evaluated can be used for industrial production.

Keywords: vegetable waste; production; bioethanol; yield

1. INTRODUCCIÓN

Los biocombustibles que se producen de diferentes materias orgánicas provenientes de procesos con organismos vivos o sus desechos están siendo ampliamente estudiados desde hace varias décadas en diferentes países y centros de investigación (Amaris et al., 2015), pero cada una con sus particularidades en relación a la materia prima, proceso y resultados; asimismo, han sido clasificados como, de primera, segunda y tercera generación (Salinas y Gasca, 2009). Los materiales vegetales, azúcar de caña, trigo, maíz, semillas oleaginosas, frutas azucaradas, y otros alimentos están siendo utilizados e igualmente otros componentes que no tienen una función alimentaria (Escalante y Fuentes, 2013).

Las materias primas vegetales de tipo lignocelulósicos son calificados como competentes para la producción de bioetanol de segunda generación (Escalante y Fuentes, 2013); así como de la biomasa de remanentes industriales, agroindustriales o doméstico. Estos últimos tipos de residuos se generan en cantidades apreciables y su acumulación genera impactos negativos directamente al medio ambiente. Por tanto, la propuesta de ser utilizados en la producción de bioetanol (Ibáñez y Morales, 2009), constituye una elección coherente y evitar el empleo de materiales de tipo alimentarios, y lograr simultáneamente reducir los contaminantes orgánicos vegetales (Hernández, 2017).

La producción de bioetanol comenzando con materiales orgánicos es un bioproceso misceláneo de cinco etapas: Preparación de la materia prima, hidrólisis, fermentación, separación, deshidratación, y tratamiento de efluentes. Así tenemos que el bioproceso de producción de bioetanol desde la caña de azúcar abarca la extracción del jugo de caña, compuesto de azúcares, y originar una disolución mejor asimilable para las levaduras en la etapa fermentativa. El producto hidroalcohólico proveniente de la fermentación se separa de la biomasa residual, y se continúa con la separación del bioetanol por distintos procedimientos. La obtención de bioetanol de maíz incluye la hidrólisis de la estructura básica del almidón hasta hidratos de carbono simples requeridos para la fermentación; esta hidrólisis se lleva a cabo por enzimas después de una etapa previa de solubilización para lograr que el almidón sea más asequible a las amilasas de diferentes orígenes (Cardona et al., 2005).

Una propuesta de innovación es generar bioetanol de residuos que se eliminan indiscriminadamente y que generan impactos perjudiciales en todo tipo de ambiente (Serna et al., 2011); además, de no lidiar con productos vegetales que se aprovechan como alimentos (Martínez et al., 2014). Estos subproductos en su generalidad corresponden al material lignocelulósico que contiene polímeros de celulosa y hemicelulosa entre 75 y 80%, que pueden ser degradados, por procesos químicos (Gerena, 2013), físicos y/o biológicos (Tejeda et al., 2010) en azúcares. Además, las investigaciones están orientadas a establecer un protocolo estándar de pretratamiento económico en razón a los diferentes tipos de materiales primarios y la aplicación de hongos, bacterias, silvestres o mejoradas genéticamente que potencializarían la fermentación de azúcares y ulterior destilación de bioetanol (Sánchez et al., 2010), con rendimientos variables.

La celulosa es un biopolímero de elementos de celobiosa constituida por moléculas de D-glucosa ligadas mediante enlaces β -1,4- glucosídicos, estableciéndose cadenas lineales que se ligan uno a otro mediante enlaces de hidrógeno y fuerzas de Van Der Waals, constituyendo microfibrillas de escasa biodegradabilidad y mayor estabilidad; la hidrólisis de este compuesto ocurre mediante la reacción con enzimas, celulasas. En tanto que, las hemicelulosas son biomoléculas ramificadas en una alta proporción respecto a otras moléculas, poseen diversos grupos funcionales polares por la variedad de azúcares que lo integran, monómeros de hexosas (D-glucosa, D-manosa, y D-galactosa), pentosas (D-xilosa y L-arabinosa), deoxihexosas (L-ramnosa), y ácidos urónicos (D-ácido glucurónico y 4-O-metil-D-ácido glucurónico); y se caracterizan por ser bastante solubles en agua (Morales, 2015).

La lignina es otro biopolímero abundante en la naturaleza y que muestra una divergencia notable en comparación a otras macromoléculas que conforman la pared celular de las células vegetales, es amorfa, ramificada, heterogénea e hidrofóbica. Tridimensionalmente, la lignina rodea las microfibrillas de celulosa y hemicelulosa, y está unida a esta última mediante ciertos enlaces fuertes de tipo covalente. En la naturaleza existen diferentes tipos de lignina, dependiendo de la especie vegetal de origen, y que se diferencian uno de otro por los anillos aromáticos de los monómeros que lo componen y la cantidad proporcional de sus precursores (Segura et al., 2007). Su degradación se realiza a través de la utilización de enzimas de hongos que cohabitan con la madera (Ayuso et al., 2018).

Los recolectores de residuos sólidos urbanos transportan volúmenes de miles de toneladas al año que se acumulan en vertederos informales y la fracción orgánica se cataloga por su composición como material lignocelulósico (Sánchez et al., 2010); es decir, están formados por polisacáridos de naturaleza celulósica, hemicelulósica, y una imponente proporción de ligninas. La constitución molecular es diferente entre los tipos de células, tejidos y especies de vegetales; una proporción en base a peso seco sería de 35% de pectina, 30% de celulosa, 25% de hemicelulosa, y finalmente 10% de proteína. Los residuos lignocelulósicos pueden recibir un pre tratamiento a base de una hidrólisis química con hidróxido de sodio o ácido clorhídrico; y una hidrólisis biológicas utilizando enzimas (Carmona et al., 2009); donde se puede determinar la cantidad de azúcares reductores, utilizado posteriormente en el bioproceso de fermentación; y después de realizar una destilación simple, se determina la cantidad de bioetanol (Malagon et al., 2017).

La explotación no convencional de los residuos urbanos sólidos y en forma exclusiva para elaborar bioetanol, de acuerdo a las situaciones de América Latina (Rondón et al., 2016), donde más del 50% de estos incumben a residuos de peculiaridades orgánicas, no ha sido explotada, y acaba siendo una buena oportunidad para adicionar un valor importante, forjar un relevante crecimiento económico y establecer condiciones de trabajo permanente para las personas que buscan una rentabilidad formal de los múltiples residuos que se generan cotidianamente. Por tal motivo, para aprovechar los conocimientos potenciales de la biotecnología como ciencia, que ofrece diversas expectativas para la generación de energías renovables, se implementa la producción de bioetanol con procesos biológicos mejorados que se encargan de transformar las diferentes materias orgánicas (Martínez et al., 2014).

Los residuos orgánicos vegetales se presentan como una alternativa para enfrentar y superar una problemática ambiental y social que demanda una solución oportuna (Díaz, 2015), y a la vez existe una demanda declarada en la producción de bioetanol. Para este proceso solamente es necesario implementar una estructura controlada que permita la degradación del material vegetal complejo en moléculas sencillas, y establecer el crecimiento efectivo de las células fermentadoras para la generación de etanol a partir de materia orgánica (Patrón y Rodríguez, 2014; Murillo, 2016). Así tenemos que los estudios han evaluado la producción de bioetanol comenzando con los restos de banano (Escalante y Fuentes, 2013), maracuyá (Ávila, 2015), lulo y mango (Malagon et al., 2017), y raquis de banano (Llangari, 2018) como los más convenientes.

Existen muchos conocimientos, investigaciones y tecnologías sobre el bioproceso de producción de bioetanol con materias primas permisibles de la agroindustria y agricultura convencional. Además, existen muchas materias primas orgánicas disponibles en los mercados de abastos de la ciudad de Trujillo y en región La Libertad que podrían ser utilizados como materia prima en las fermentaciones industriales para obtener productos de mayor valor comercial. Por otro lado, hay preocupación de las autoridades para reducir el impacto negativo de los residuos en la urbe de Trujillo y la obtención de un combustible alternativo partidario con el medio ambiente. En razón de los grandes volúmenes de generación de residuos orgánicos de origen vegetal en la ciudad de Trujillo (MPT, 2016), y acumulación de residuos de hojas de eucalipto en el campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo, se pretende evaluar un fortalecido recurso a base de desechos orgánicos de tipo vegetal en la producción de bioetanol y proponer un procedimiento eficiente para minimizar el perjuicio al medio ambiente. Al mismo tiempo, se podría obtener información técnica de producción de bioetanol a un menor costo, y extrapolar la producción a gran escala. En tal sentido, se evaluó el rendimiento en la producción de bioetanol utilizando cáscaras de *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y hojas de *Eucalyptus globulus*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Material biológico:

Cáscaras frescas de *Citrus reticulata* (mandarina), *Passiflora edulis* (maracuyá) provenientes de mercados de la ciudad de Trujillo, y hojas secas de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) procedentes del campus universitario de la Universidad Nacional de Trujillo, 2019.

2.2. Metodología

Recolección y procesamiento del material biológico:

Las cáscaras frescas de frutas y hojas secas fueron recolectadas en forma individual en bolsas de polietileno de primer uso, rotuladas y llevadas al laboratorio de Fisiología y Genética Microbiana de la Universidad Nacional de Trujillo. Cada tipo de cáscara y hojas fueron lavados con agua potable, desinfectadas con solución de hipoclorito de sodio 2.5% por 30 minutos, enjuagados con agua destilada, y colocados en recipientes para su secado a 60° C durante 2 h en estufa de laboratorio Memmert. Finalmente, la materia orgánica vegetal seca fue triturada, de manera individual, en un molino mecánico de disco hasta alcanzar un tamaño de 0.5 a 1 mm.

Hidrólisis:

Se pesó un kg de residuo orgánico vegetal seco y molido, se colocó en recipiente de aluminio, y se adicionó cuatro litros de ácido clorhídrico 1.0 M, y calentó a 100°C por 5 h.

Ajuste de pH y medición de densidad inicial:

El sobrenadante anterior (hidrolizado) fue separado por decantación y adicionado una solución de hidróxido de sodio 1.0 M hasta lograr un pH igual a 4.5. La medición de los grados Brix y la densidad se realizó por equivalencia utilizando el refractómetro portátil de mano con ATC, colocando una gota de suspensión en la superficie del prisma, y haciendo lectura directa a través del ocular.

Producción de inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* MIT – L51:

El cultivo de la levadura fue reactivado en caldo Sabouraud glucosa e incubado por 12 h a 30°C. Luego se centrifugó a 4000 rpm durante 10 minutos, y con el sedimento se preparó una suspensión con agua destilada estéril a una concentración de 1.2×10^{12} levaduras/ml, utilizando la cámara de Neubauer y con microscopio óptico Olympus.

Esterilización del hidrolizado, fermentación y separación del producto alcohólico:

2 L de hidrolizado anterior fueron esterilizados en autoclave a 121°C, a una atmósfera de presión por 20 min. Una vez enfriado fue suplementado con sulfato de amonio a razón de 400 mg/L de medio de producción. Además, se agregó 200 ml de inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* MIT - L51.

El sistema anterior fue cerrado herméticamente, mantenido en reposo, e incubado a temperatura ambiente (23-25°C) por 7 días. Se midió el pH, con pH-metro; y el grado alcohólico, por equivalencia con el brixómetro de mano, precisión $\pm 1\%$ (Escalante y Fuentes, 2013). El sobrenadante (producto alcohólico) de la fermentación se obtuvo mediante decantación y filtrado con papel filtro Whatman N° 10. Se realizó tres repeticiones para cada uno de los diferentes tipos de residuos vegetales evaluados.

Destilación:

Un litro de filtrado alcohólico fue acondicionado en el sistema de destilación de vidrio, con serpentín o espiral interno, a 78°C por 3 h. Se midió el volumen de etanol obtenido en una probeta graduada. El grado alcohólico del destilado se determinó mediante la medición de la densidad y uso de la tabla de equivalencia alcoholimetría internacional (International Organisation Legal Metrology, Paris).

Procesamiento de datos y tratamiento estadístico:

Con los datos obtenidos, se calculó el rendimiento promedio en % (Volumen de etanol obtenido/100 ml de caldo fermentado) de la fermentación para cada kg del tipo de residuo orgánico vegetal evaluado, se calculó la desviación estándar, y comparó los valores promedios aplicando el Análisis de Varianza con 95% de confianza y posteriormente se aplicó la prueba estadística de Tukey mediante el software IBM SSPS Statistics 20 (Wong-González, 2010).

3. RESULTADOS

En la Tabla 1, se presenta las características del hidrolizado obtenido después del tratamiento ácido, siendo los valores promedio de densidad entre 1,10 y 1,20 g/ml, pH 2,00 y grado Brix entre 14 y 22, según el tipo de residuo vegetal evaluado.

En la Tabla 2, se presenta las características del fermentado obtenido después de 7 días de incubación a temperatura ambiente (23-25°C), donde el pH final promedio fue de 2,00, y el grado alcohólico varió entre 7 y 9 en relación al tipo de residuo vegetal.

En la Tabla 3, se presenta la densidad promedio entre 0,83 y 0,84 g/ml de los destilados de alcohol obtenido a temperatura ambiente (23-25°C) de cada uno de los residuos vegetales y la correspondiente equivalencia en grado alcohólico (pureza), siendo este de 80° promedio en los tres destilados obtenidos

En la Figura 1, se muestra los rendimientos promedios \pm desviación estándar de bioetanol obtenidos a partir de los diferentes tipos de residuos orgánicos vegetales evaluados; así tenemos que, las cáscaras de mandarina permitió obtener un rendimiento del $3,8 \pm 0.2$ % (v/v, ml de bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado); mientras que, con las cáscaras de maracuyá se logró un $4,2 \pm 0.1$ % (v/v); finalmente, con las hojas de eucalipto se consiguió el mayor rendimiento, $4,7 \pm 0.1$ % (v/v) en las mismas condiciones de ensayo.

Tabla 1. Características del hidrolizado obtenido después del tratamiento ácido.

Característica	Valor promedio		
	cáscara de mandarina	cáscara de maracuyá	hojas de eucalipto
Densidad (g/ml)	1,15	1,20	1,10
pH	2,00	2,00	2,00
Grados Brix	14,00	20,00	22,00

Tabla 2. Características del fermentado obtenido después de 7 días de incubación a temperatura ambiente (23-25°C).

Característica	Valor promedio		
	cáscara de mandarina	cáscara de maracuyá	hojas de eucalipto
pH	4,5	4,0	4,5
Grado alcohólico	7,0	8,0	9,0

Tabla 3. Densidad promedio del destilado obtenido a temperatura ambiente (23-25°C).

Característica	Valor promedio		
	cáscara de mandarina	cáscara de maracuyá	hojas de eucalipto
Densidad (g/ml)	0,84	0,83	0,83
Grado alcohólico (Volumen)	80,00	80,00	80,00

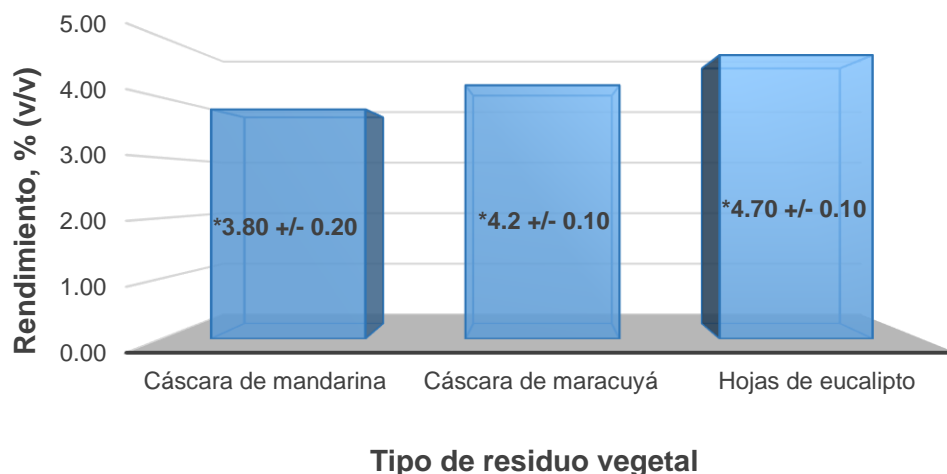


Figura 1. Rendimientos promedios de bioetanol obtenidos, de 80° de pureza, a partir de los diferentes tipos de residuos vegetales evaluados. Presenta diferencias significativas $p < 0,05$

4. DISCUSIÓN

La producción de biocombustibles mediante procedimientos estandarizados (Cardona et al., 2005; Campos et al., 2017) fue posible y ejecutada en condiciones mínimas de materiales y ambientes, utilizando como materia prima, un recurso de alta disposición en cantidad y volumen; como lo son, los materiales orgánicos de origen vegetal que existe en diferentes entornos, como los evaluados en esta investigación, residuos vegetales de mandarinas y maracuyá, originados del comercio en mercados de la ciudad; y de hojas de eucalipto que se acumulan en las áreas verdes del campus universitario. Esta línea de investigación está relacionada con la evaluación del tipo de materia orgánica vegetal que permitió obtener un mayor rendimiento de bioetanol en las condiciones de ensayo particulares (Abascal, 2017; Hernández, 2017).

El proceso de hidrólisis química de los enlaces covalentes entre las unidades de azúcares que forman la estructura del material celular vegetal se consiguió con el uso de una solución comercial de ácido clorhídrico al 1,0 M, el mismo que se verificó con la medición de los grados Brix. Los ensayos realizados para la fermentación alcohólica con *Saccharomyces cerevisiae* MIT L-51 se iniciaron con 14°Brix, volumen de trabajo de 2,2 L, y se verificó la reducción de los azúcares 3,0°Brix después de 7 días de incubación a temperatura ambiente (23-25°C), antes de continuar con la siguiente etapa de destilación. La medición del volumen del destilado, a 78°C en baño maría por 3 h en el sistema de destilación con refrigerante tipo espiral, permitieron determinar los rendimientos promedios de etanol obtenido al final de la fermentación, que fueron de $3,8 \pm 0,2$ % (v/v); es decir que se obtuvo 3,8 ml de bioetanol por cada 100 ml de fermento que fue destilado, proveniente de cáscaras de mandarina; mientras que, el rendimiento fue de $4,2 \pm 0,1$ % (v/v, ml de bioetanol obtenido/100 ml de fermento destilado) con cáscaras de maracuyá y de $4,7 \pm 0,1$ % (v/v) para hojas de eucalipto, todos con una pureza del 80% en volumen. La comparación de los valores promedios de los rendimientos obtenidos mediante el análisis de varianza a un nivel de confianza del 95%, indica que si hay diferencia significativa ($p < 0,05$), y de acuerdo al programa estadístico de Tukey en el software IBM SSPS Statistics 20, todos los promedios son diferentes entre sí (Wong-González, 2010) quedando establecido que el rendimiento obtenido está en relación al tipo de residuo vegetal evaluado.

Es cierto que todo la producción de bioetanol ha sido derivado desde el azúcar de caña (Hernando, 2008) y almidón de maíz (González y Brugués, 2010), como materias orgánicas principales, pero ambos insumos pueden llegar a perjudicar la alimentación de las naciones, o aumentaría la demanda de recursos, e incrementaría el precio de los alimentos; de allí que, investigar nuevas alternativas de producir biocombustibles sin perturbar el abastecimiento de alimentos es una necesidad prioritaria y urgente (Sánchez, 2010). En el 2015, la Unión Europea estableció una meta importante, de que solo el 7% de forrajes y cultivos alimentarios sirvan para producir energía renovable; en tanto que, para el año 2020, los biocombustibles que se elaboran utilizando cultivos agrícolas no debe superar el 7% del consumo energético para el rubro de transporte. Estas exigencias, van a permitir liberar tierras de cultivo para alimentos (OCDE/FAO, 2016). En este sentido, el uso de los residuos vegetales que existen de manera natural constituye una gran opción para reemplazar ciertos recursos alimentarios para la producción de bioetanol a nivel regional.

Las diferentes investigaciones sugieren que es factible la producción de etanol (Escalante y Fuentes, 2013; Sela, 2015; Hernández, 2017) a partir de diferentes tipos de residuos orgánicos, donde sigue siendo necesario un mayor detalle y profundidad de las características particulares y óptimas de cada bioproceso a fin de establecer esta tecnología a escala industrial. Entonces, las investigaciones presentes y futuras ligadas a la responsabilidad social permitirán producir biocombustibles con fines comerciales para satisfacer una demanda insatisfecha, generar fuentes de trabajo y reducir los impactos negativos al ambiente; y los países en desarrollo están tratando de aumentar los niveles de producción, por la demanda expresa, reducir los impactos negativos sobre el ambiente, y disminuir el uso de los combustibles no renovables obtenidos del petróleo (Güiza et al., 2019).

En América Latina, los desechos sólidos de naturaleza orgánica son exuberantes, que representan la porción con un alto porcentaje de residuos sólidos urbanos, donde una pequeña parte de estos son empleados y valorizados; de allí que, es de vital importancia implementar e innovar nuevos bioprocursos y/o crear nuevas cadenas productivas; en este sentido el aprovechamiento de los desechos sólidos orgánicos debe generar un mayor impacto ambiental positivo por el manejo o reducción de este tipo de residuos con la consiguiente generación de productos con valor adicional como es la producción de biocombustibles en los países en vía de desarrollo, donde en términos generales, el rendimiento de etanol que se ha logrado alcanzar estuvo en un promedio de 0,50 g etanol/g de glucosa proveniente de residuos sólidos urbanos, con producción marginal de CO₂ y CH₄ (Martínez et al, 2014); mientras que, Aurora y Barrera (2015) trabajaron con residuos fermentables de *Mangifera indica* (Mango) a pH de $4,02 \pm 0,2$, °Brix de $17 \pm 1,2$ y azúcares reductores de $110 \pm 2,2$ g/L en un biorreactor de 1,5 L de volumen de trabajo a 27°C y presión atmosférica; obteniéndose una concentración de etanol 5,25% (p/v).

Hernández (2017) evaluó los restos de las frutas, como es la cáscara, además de la pulpa de plátano y naranja con un tratamiento hidrotérmico previo entre 120 y 135°C y obtuvo azúcares fermentables en una concentración de 36,80 g/100 g de residuo seco, consiguiendo una concentración final de 1,7 % (v/v) de bioetanol desde la pulpa de plátano tratada a 135°C. Por su parte, Malagón et al. (2017) evaluaron la producción de bioetanol a partir de diversas mezclas de residuos orgánicos vegetales que se recopilan en una empresa procesadora de alimentos, donde establecieron que la combinación de residuos lulo-limón

tuvo la más alta concentración de azúcares reductores, 2,08 g glucosa/L mezcla y lograron obtener 9.22 g bioetanol/kg de residuos como máximo rendimiento; y siendo de 0,87 g, el rendimiento final de producto/sustrato. Mientras que, Escalante y Fuentes (2013) determinó un alto porcentaje de la degradación de hemicelulosa cuando ajustó la disolución a un pH aproximado de 2,5; y obtuvo un producto destilado con un 92% de pureza en peso y un rendimiento de 0,078 g de etanol/g de biomasa.

Existen diferentes instituciones que destinan recursos económicos para mitigar el cambio climático que por sí solas no reducen las emisiones de gas efecto invernadero de manera efectiva; en este sentido, es conveniente reorientar un mejor y real apoyo en cada una de las etapas de este bioproceso y que una reglamentación oportuna permita favorecer la inversión pública y privada para la generación y establecimiento de actividades comerciales que posibilite tu expansión (Güiza et al., 2019); además, se sugiere continuar con las investigaciones sobre la estandarización de los bioprocesos para cambiar o aprovechar mejor las materias primas alternativas en la producción de biocombustibles especialmente a partir de residuos vegetales como son las hojas de los árboles que caen después de cumplir su función principal.

5. CONCLUSIÓN

Las cáscaras de *Citrus reticulata*, *Passiflora edulis* y hojas de *Eucalyptus globulus* pueden ser utilizados como material orgánico para producir bioetanol, siendo los residuos de hojas de *E. globulus* los que permitieron obtener un mayor rendimiento (4,7%). Los diferentes residuos vegetales evaluados existen en diferentes ambientes de manera natural o subproductos, y constituyen una gran opción a escala de planta piloto o industrial.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Abascal, R. (2017). Estudio de la obtención de bioetanol a partir de diferentes tipos de biomasa lignocelulósica. Matriz de reacciones y optimización. (Tesis de Pregrado). Universidad de Cantabria, Santander, España
- Amarís, J; Manrique, D; y Jaramillo, J. (2015). Biocombustibles líquidos en Colombia y su impacto en motores de combustión interna. Una revisión. Revista Fuentes. El Reventón Energético, 13(2): 23-34.
- Aurora, E; y Barrera, E. (2015). Obtención de bioetanol a partir de los residuos fermentables de mango y determinación de parámetros óptimos de destilación. Rev. Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación, 2(2):31-40.
- Ayuso-Fernández, I; Ruiz-Dueñas, F; y Martínez, A. (2018). Evolutionary convergence in lignin-degrading enzymes. PNAS 115(25): 6428–6433 DOI: 10.1073/pnas.1802555115.
- Ávila, L. (2015). Obtención de bioetanol de segunda generación a partir del pericarpio de maracuyá (*Passiflora edulis* f. flavicarpa). (Tesis de Pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Campos, C; Delgado, H; Esquivel, J; Samamé, J; y Sirlupú, J. (2017). Diseño de la línea de producción para la elaboración de biodiesel a partir de aceite residual recolectado de la industria chiflera piurana. Facultad de Ingeniería. Área Departamental de Ingeniería Industrial y de Sistemas. Universidad de Piura. Fecha de consulta 02 de marzo 2020. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3221/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biodiesel.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Cardona, C; Julián, O; Montoya, M; y Quintero, J. (2005). Simulación de los procesos de obtención de etanol a partir de caña de azúcar y maíz. Scientia et Technica, (28):187-192. ISSN 0122-1701.
- Carmona, R; Lienqueo, M; Salazar, O; y García A. (2009). Bionergy II: Biological pretreatment with fungi as a tool for improvement of the enzymatic saccharification of *Eucalyptus globules* Labill to obtain bioethanol. International Journal of Chemical Reactor Engineering, 7:(1). doi: <https://doi.org/10.2202/1542-6580.1935>.
- Díaz, A. (2015). Hidrólisis de residuos de la venta de verduras y hortalizas para la producción de bioethanol. (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo. Oviedo, España.
- Escalante, J. y Fuentes, H. (2013). Estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura. (Tesis de Pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Gerena, F. (2013). Obtención de jarabes azucarados a partir de la hidrólisis química de residuos de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis* var valencia) y papa (*Solanum tuberosum* var diacol capiro) para

- ser empleados como edulcorantes en la industria de alimentos. (Tesis de Pregrado). Escuela de Ciencias Básicas Tecnológicas e Ingeniería, Duitama. España.
- González, S; y Brugués, A. (2010). Producción de biocombustibles con maíz: Un análisis de bienestar en México. Universidad Autónoma Indígena de México Mochicahui, El Fuerte, Sinaloa. México. Ra Ximhai, 6 (1):73-85.
- Güiza-Suárez, L; Rodas, J; Cifuentes-Guerrero, J; y González, J. (2019). Energías renovables no convencionales y cambio climático. Editorial Universidad del Rosario. Bogotá, Colombia.
- Hernando, R. (2008). Bioetanol de caña de azúcar. Una energía para el desarrollo sostenible Resumen ejecutivo.
- Hernández, C. (2017). Obtención de bioetanol a partir de hidrolizados de residuos de fruta. (Tesis de Maestría). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Ibáñez, D. y Morales, H. (2009). Diseño y simulación de un fermentador aerobio para producir etanol a partir de jarabe de glucosa usando levaduras nativas. (Tesis de Título). Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
- Llangari, A. (2018). Comparación del rendimiento y calidad de bioetanol obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de los pseudotallos de banano. (Tesis de Título). Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, (Tesis de Título). Ecuador.
- Martínez, J; Montoya, N; y Sierra, M. (2014). Energía del futuro: Bioalcoholes a partir de Residuos Sólidos Urbanos. Rev. Esc. Adm. Neg. Bogotá, 77: 64-81.
- Malagón, M; Paéz, A; Muñoz, A; Santos, J; y Zabala, D. (2017). Producción de bioetanol a partir de diferentes mezclas de los residuos orgánicos generados en una empresa de alimentos. Fundación Universidad de América. Revista de Investigación 10 (1): 47-59 ISSN 2011-639X
- Morales, S. (2015). Hidrólisis ácida de celulosa y biomasa lignocelulósica asistida con líquidos iónicos. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, (Tesis de Título). España.
- Municipalidad Provincial de Trujillo (MPT) – SEGAT Y ECOLOGY YASJOMI E.I.R.L. (2016). Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales del área urbana del distrito Trujillo – mayo 2016. Informe final. pp. 46. Disponible en: file:///C:/Users/FAMILY/Downloads/informe_final.pdf
- Murillo, J. (2016). Producción de etanol carburante de segunda generación a partir de residuos como cáscara de banana, maracuyá y naranja utilizando la levadura *Candida utilis* en fermentación. Rev. Sennova Colombia, 2(1): 15-29.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, OCDE/FAO. (2016). OCDE - FAO Perspectivas Agrícolas 2016 -2025. OCDE Publishing Paris. Fecha de consulta 02 de marzo 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5778s.pdf>.
- Patrón, A. y Rodríguez, A. (2014). Diseño de un biorreactor para la producción de bioetanol a partir de desechos orgánicos a escala de laboratorio. (Tesis de Título). Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla, Colombia. (Tesis de Título).
- Rondón, E; Szantó, M; Pacheco, J; Contreras, E; y Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. Manuales de la CEPAL N° 2. ISSN 2518-3923.
- Salinas, E. y Gasca, V. (2009). Los biocombustibles. El Cotidiano 157: 75-82. ISSN 0186 - 1840. Fecha de consulta 02 de marzo 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/45087460_Los_biocombustibles.
- Sánchez, A; Gutiérrez, A; Muñoz, J; y Rivera, C. (2010). Producción de bioetanol a partir de subproductos agroindustriales lignocelulósicos. Revista Tumbaga, 5: 61-91.
- Sánchez, J. (2010). Producción de etanol a partir de basura orgánica. Programa PERSEO aplicado a México.
- Sela, A. (2015). Hidrólisis de residuos lignocelulósicos procedentes del comercio de frutas y hortalizas como paso previo a la producción de bioetanol. (Tesis de Pregrado). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.
- Segura, F; Echeverri, R; Patiño, A., y Mejía, A. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. Revista de la Facultad de Química Farmacéutica, 14 (1): 72-81. ISSN 0121-4004.
- Serna, F; Barrera, L., y Montiel, H. (2011). Impacto social y económico en el uso de biocombustibles. Journal of Technology Management & Innovation, 6(1): 100-114.
- Tejeda, L; Tejeda, C; Villabona, A; Alvear, M; Castillo, C; Henao, D; Marimón, W; Madariaga, N., y Tarón, A. (2010). Producción de bioetanol a partir de la fermentación alcohólica de jarabes glucosados derivados de cáscaras de naranja y piña. Revista Educación en Ingeniería, 5(10):120-125.
- Wong-González, E. (2010). ¿Después de un análisis de varianza...qué? Ejemplos en Ciencia de Alimentos. Información técnica. Agronomía mesoamericana, 21(2):349-356. ISSN: 1021-7444.